



TUGAS AKHIR – SS141501

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT
PADA PENGENDALIAN KUALITAS PROSES
PRODUKSI AIR DI PDAM SURABAYA**

**RINTA NOVELINTA WARDHANI
NRP 1313 100 048**

**Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, MSIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – SS141501

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT
PADA PENGENDALIAN KUALITAS PROSES
PRODUKSI AIR DI PDAM SURABAYA**

**RINTA NOVELINTA WARDHANI
NRP 1313 100 048**

**Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, MSIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – SS141501

**IMPLEMENTATION OF MULTIVARIATE
CONTROL CHART ON QUALITY CONTROL
OF WATER PRODUCTION PROCESS
AT PDAM SURABAYA**

**RINTA NOVELINTA WARDHANI
NRP 1313 100 048**

**Supervisor
Drs. Haryono, MSIE**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT PADA PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR DI PDAM SURABAYA

TUGAS AKHIR


Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Rinta Novelinta Wardhani
NRP. 1313 100 048

Disetujui oleh Pembimbing:
Drs. Haryono, MSIE
NIP. 19520919 197901 1 001



Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono
NIP. 19740929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT PADA PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR MINUM DI PDAM SURABAYA

Nama Mahasiswa : Rinta Novelinta Wardhani
NRP : 1313 100 048
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Drs. Haryono, MSIE

Abstrak

PDAM Surabaya merupakan salah satu unit usaha milik daerah yang bergerak dalam bidang distribusi air bersih. Penelitian ini dilakukan untuk mengendalikan kualitas proses produksi air minum PDAM Surabaya menggunakan salah satu alat statistik yaitu diagram kontrol. Variabel yang digunakan merupakan karakteristik kualitas air berupa Turbidity, KMnO_4 , Sisa Chlor, dan pH. Keempat variabel ini diindikasikan memiliki hubungan sehingga digunakan diagram kontrol multivariat. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder Bulan Januari-Maret 2014 untuk fase 1, dan Bulan April-Mei 2014 untuk fase 2. Hasil pemeriksaan asumsi normal multivariat dan korelasi menyatakan bahwa diagram kontrol multivariat cocok diterapkan terhadap data. Diagram kontrol menunjukkan bahwa variabilitas proses yang belum terkendali disebabkan oleh pH dan Sisa Chlor, kemudian mean proses yang belum terkendali disebabkan oleh Turbidity dan pH. Dengan menggunakan standard batas kendali baru dari fase 1, diagram kontrol untuk fase 2 menunjukkan bahwa proses telah in control dan dapat diketahui bahwa proses produksi selanjutnya memiliki nilai indeks MC_p sebesar 1.66 dan MC_{pk} 0.75, yang menunjukkan bahwa presisi proses cukup baik namun akurasi proses masih kurang baik sehingga belum mampu memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

Kata Kunci : Air, Diagram Kontrol, Kapabilitas, Multivariat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTATION OF MULTIVARIATE CONTROL CHART ON QUALITY CONTROL OF WATER PRODUCTION PROCESS AT PDAM SURABAYA

Name : Rinta Novelinta Wardhani
NRP : 1313 100 048
Department : Statistics
Supervisor : Drs. Haryono, MSIE

Abstract

PDAM Surabaya is one of the regional business unit runs in the distribution of water. This research is undertaken to control the quality of water production process at PDAM Surabaya using one of the statistical tools, control chart. The variables used are 4 quality characteristics of water includes Turbidity, KMnO_4 , Chlor Residual, and pH. Multivariate control chart is used due to correlation that is indicated to be exist among these variables. This research used secondary data of water quality characteristics from January to March 2014 (first phase) and April to May 2014 (second phase). The result of identification of multivariate and correlation assumption states that multivariate control chart is suitable for this data. The control charts show that the variability of process has not been controlled and majority caused by pH and Chlor Residuals, so does the mean of process which is caused by pH and Turbidity. By using new standard control chart obtained from the first phase, the second phase control chart shows that process has been in control, so it can be known that the next production process has MC_p value of 1.66 and MC_{pk} value of 0.75, which means that the next process precision is pretty good but the process accuracy is still not good enough, so the process has not been able to meet the expected spesification.

Keyword : Capability, Control Chart, Multivariate, Water.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Selesainya penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran serta dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Haryono, MSIE sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan segenap dukungan serta arahan sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan sebaik-baiknya.
2. Bapak Drs. Muhammad Mashuri, MT dan Ibu Dr. Kartika Fithriasari, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Bambang Widjanarko Otok selaku dosen wali atas dukungan yang diberikan.
4. Pihak PDAM Surabaya yang telah membantu dalam proses pengambilan data Tugas Akhir ini.
5. Ibu yang senantiasa mendampingi penulis dengan doa.
6. Segenap karyawan Departemen Statistika yang turut membantu dalam serangkaian proses penyelesaian Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis berharap semoga hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Kritik dan saran pembaca sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2017

Rinta Novelinta Wardhani

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Diagram Kontrol I-MR.....	7
2.2. Pengujian Hubungan Variabel.....	8
2.3. Pemeriksaan Normal Multivariat.....	9
2.4. Diagram Kontrol <i>Improved Generalized Variance</i>	10
2.5. Diagram Kontrol T^2 Hotelling.....	12
2.6. Identifikasi Penyebab Varians Proses <i>Out of Control</i>	13
2.7. Identifikasi Penyebab Mean Proses <i>Out of Control</i>	13
2.8. Kapabilitas Proses.....	13
2.9. IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya.....	15
2.10. Proses Penjernihan Air.....	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Sumber Data.....	19
3.2. Variabel Penelitian.....	19
3.3. Cara Pengambilan Sampel dan Pengukuran Sampel.....	21
3.4. Langkah Analisis.....	21

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Karakteristik Kualitas Air	25
4.2. <i>Monitoring</i> Proses Secara Univariat	27
4.3. Pemeriksaan Asumsi.....	30
4.3.1. Korelasi Antar Karakteristik Kualitas	30
4.3.2. Distribusi Normal Multivariat	31
4.4. Pengendalian Kualitas Air Secara Multivariat	31
4.5.1. Pengendalian Variabilitas Proses.....	31
4.5.2. Pengendalian Mean Proses	34
4.5. <i>Monitoring</i> Kualitas Air Secara Multivariat Fase 2	37
4.6. Indeks Kapabilitas Proses	39

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	41
5.2. Saran	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Struktur Data.....	19
Tabel 3. 2 Variabel Penelitian.....	19
Tabel 4. 1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Air.....	25
Tabel 4. 2 Nilai Eigen dan Variabilitas yang Terjelaskan	32
Tabel 4. 3 Bobot Seluruh Variabel untuk Setiap Komponen.....	33
Tabel 4. 4 Identifikasi Variabel Penyebab Pengamatan <i>Out of Control</i>	35
Tabel 4. 5 Indeks Kapabilitas Multivariat.....	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Alur Proses Penjernihan Air Bersih	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4. 1 Histogram (a) <i>Turbidity</i> , (b) KMnO_4 , (c) Sisa Chlor, (d) pH.....	26
Gambar 4. 2 Diagram I-MR <i>Turbidity</i>	27
Gambar 4. 3 Diagram I-MR KMnO_4	28
Gambar 4. 4 Diagram I-MR Sisa Chlor	29
Gambar 4. 5 Diagram I-MR pH.....	30
Gambar 4. 6 Diagram IGV Fase 1	32
Gambar 4. 7 Diagram IGV Fase 1 Keadaan <i>In Control</i>	34
Gambar 4. 8 Diagram T^2 Hotelling Fase 1	35
Gambar 4. 9 Diagram T^2 Hotelling Fase Keadaan <i>In Control</i>	36
Gambar 4. 10 Diagram IGV Fase 2	37
Gambar 4. 11 Diagram T^2 Hotelling Fase 2.....	38

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Karakteristik Kualitas Proses Produksi Air Minum Bulan Januari-Mei 2014	45
Lampiran B. Output Korelasi Antar Variabel Menggunakan Software SPSS	46
Lampiran C. Program Matlab Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	46
Lampiran D. Program Matlab Diagram <i>Improved Generalized Variance</i> Individu	48
Lampiran E. Program Matlab Diagram Improved GV tanpa 9 Pengamatan <i>Out of Control</i>	50
Lampiran F. Diagram Improved GV tanpa 9 Pengamatan <i>Out of Control</i>	52
Lampiran G. Program Matlab Diagram <i>Improved</i> GV Keadaan <i>In Control</i>	53
Lampiran H. Program Matlab Diagram <i>Improved</i> GV Fase 2 ..	55
Lampiran I. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling	57
Lampiran J. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Keadaan <i>In Control</i>	59
Lampiran K. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Fase 2....	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting. Demi menunjang kehidupannya, manusia perlu mengonsumsi air yang bersih dan sehat setiap hari. Aksesibilitas dan ketersediaan air bersih merupakan elemen yang sangat penting dalam bidang kesehatan, produksi makanan, dan pengurangan angka kemiskinan. Pengendalian kualitas air minum yang tidak dilaksanakan dengan baik dapat merusak mutu air yang berakibat pada kerugian finansial hingga kematian. Salah satu usaha pemerintah dalam menjaga kualitas air minum yaitu menetapkan persyaratan kesehatan kualitas air minum yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 dan 736/MENKES/PER/VI/2010 agar air minum hasil produksi layak untuk dikonsumsi oleh masyarakat.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan salah satu usaha unit milik daerah yang bergerak dalam distribusi air bersih bagi masyarakat umum. PDAM terdapat pada setiap provinsi, kabupaten, dan kotamadya seluruh Indonesia salah satunya yaitu di Kota Surabaya. Menurut hasil sensus penduduk tahun 2010, Kota Surabaya merupakan kota dengan jumlah penduduk tertinggi kedua di Indonesia setelah ibukota DKI Jakarta. Jumlah penduduk di Kota Surabaya yang cukup besar mengakibatkan tingginya kebutuhan akan air bersih di kota ini. Oleh karena itu sebagai perusahaan yang bertugas untuk menjaga ketersediaan air bersih bagi seluruh masyarakat Kota Surabaya, PDAM Surya Sembada Surabaya perlu terus menjaga kualitas air produksinya. Saat ini terdapat beberapa Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) yang dimiliki oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yaitu IPAM Ngagel I, II, dan III, serta IPAM Karang Pilang I, II, dan III. Proses pengolahan air pada seluruh IPAM milik PDAM Surabaya meliputi pengolahan air baku yang berasal dari sungai di Surabaya dengan kualitas yang dapat berubah-ubah setiap

waktu karena beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain cuaca, limbah industri, dan limbah domestik. Pada penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas air minum produksi IPAM Ngagel I.

Dalam pengendalian kualitas produksi air minum, terdapat beberapa komponen tertentu yang diamati. Pada laboratorium IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya dilakukan *monitoring* terhadap tingkat kekeruhan (*turbidity*), sisa chlor, zat organik berupa Kalium Permanganat (KMnO_4), dan tingkat keasaman air (pH). Empat variabel yang diamati diindikasikan saling memiliki hubungan. Keberadaan zat organik dapat mempengaruhi kekeruhan air (Said, 2007). *Turbidity* yang tinggi meningkatkan kebutuhan terhadap chlor, sementara itu konsentrasi chlor yang meningkat akan menambah keasaman air sehingga pH cenderung berkurang. Keempat variabel ini juga dapat memberikan pengaruh yang cukup fatal apabila dikonsumsi dalam jumlah yang tidak seharusnya. Kekeruhan air yang melebihi standar dapat mengakibatkan efek toksis terhadap manusia atau meracuni tubuh. Perubahan derajat keasaman pH dapat berpengaruh terhadap tingkat toksisitas ammonia, dengan semakin rendah pH air maka semakin rendah daya racun ammonia dan sebaliknya semakin tinggi pH air, semakin tinggi pula daya racunnya (Nugroho, 2006).

Tujuan dari *Statistical Process Control* (SPC) adalah untuk mengontrol performa suatu proses produksi sehingga proses dapat dinyatakan terkontrol secara statistik, atau dapat dikatakan bahwa proses mampu menghasilkan produk yang mendekati spesifikasi yang diharapkan (Kourti & MacGregor, 1995). Pengendalian kualitas statistik telah diaplikasikan secara luas dalam bidang industri maupun jasa, yang pada umumnya terdiri atas beberapa variabel atau karakteristik kualitas yang saling berhubungan. Dalam *monitoring* proses produksi, salah satu alat statistik yang dapat digunakan yaitu diagram kontrol. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas terhadap proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya menggunakan penerapan ilmu statistik berupa diagram

kontrol multivariat dengan pengamatan individu. Diagram kontrol multivariat yang dapat digunakan yaitu diagram kontrol *Improved Generalized Variance* untuk *monitoring* varian proses dan diagram T^2 Hotelling untuk *monitoring* mean proses.

Apabila suatu proses yang melibatkan data multivariat dinyatakan tidak terkendali secara statistik maka perlu diketahui variabel penyebabnya sehingga perbaikan proses dapat lebih difokuskan terhadap variabel terkait. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat diagram kontrol univariat untuk masing-masing variabel, namun akan bertentangan dengan karakteristik antar variabel yang diyakini memiliki korelasi tinggi (Matanmi, 2011). Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan metode *Principal Component Analysis*. Metode ini akan menghasilkan nilai eigen yang mampu menggambarkan variabilitas dari data asli. Variabel dengan bobot tertinggi pada vektor eigennya adalah variabel yang memiliki kontribusi tertinggi dalam varians proses sehingga penyebab varians proses *out of control* dapat diketahui. Sementara itu apabila mean proses dinyatakan tidak terkendali, maka dapat dilakukan dekomposisi nilai T^2 , yaitu menguraikan nilai statistik T^2 sehingga diketahui kontribusi dari masing-masing variabel. Hal ini dapat dilakukan untuk mengetahui variabel apa yang menyebabkan pengamatan tersebut jatuh di luar batas kendali. Selain itu, akan dilakukan analisis kapabilitas untuk mengetahui apakah proses produksi air minum telah memiliki akurasi dan presisi yang baik serta mampu memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

Usman dan Kontagora (2010) dalam penelitiannya mengenai penerapan *Statistical Process Control* terhadap zat kimia yang digunakan dalam proses produksi air bersih menyimpulkan bahwa diagram kontrol proses produksi dapat mendeteksi perubahan proses yang terjadi, mengurangi variabilitas proses, dan menjaga stabilitas proses. Selain itu, penelitian sebelumnya mengenai pengendalian kualitas air minum pernah dilakukan oleh George, Cheng, dan Shaw (2009) menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling dan *Principal Component Analysis*, yang memberikan kesimpulan bahwa karakteristik kualitas air yang menyebabkan

adanya data *out of control* pada diagram kontrol adalah pH dan sisa chlor.

1.2. Rumusan Masalah

Demi memproduksi air bersih dan layak minum secara berkelanjutan, perlu dilakukan pengendalian kualitas produksi air minum oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sebagai salah satu Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang dimiliki oleh pemerintah kota. Selama ini, proses pengendalian dilakukan secara *univariate* tanpa mempertimbangkan hubungan antar variabel, sehingga tidak diketahui keadaan proses yang sebenarnya dipengaruhi oleh variabel yang saling berkaitan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengendalian kualitas proses produksi air minum menggunakan diagram kontrol multivariat?
2. Bagaimana kapabilitas proses produksi air minum pada IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengendalian kualitas proses produksi air minum menggunakan diagram kontrol multivariat.
2. Mengetahui kapabilitas proses produksi air minum pada IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mampu memberikan rekomendasi kepada PDAM Surya Sembada Surabaya mengenai penerapan ilmu statistika dalam bidang pengendalian kualitas. Selain itu melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perlunya peningkatan kualitas apabila diagram kontrol menunjukkan ketidak stabilan proses serta variabel yang menjadi prioritas untuk perbaikan proses selanjutnya. Rekomendasi dan informasi yang diberikan diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pihak PDAM

dalam rangka menyusun strategi mengenai peningkatan kualitas produksi air minum. Manfaat bagi peneliti adalah mampu mengaplikasikan ilmu statistika dalam permasalahan nyata, khususnya dalam bidang *quality control*.

1.5. Batasan Masalah

Terdapat beberapa karakteristik kualitas air yang diukur pada IPAM Ngagel I, namun pada penelitian ini hanya digunakan 4 karakteristik kualitas air yaitu tingkat kekeruhan (*turbidity*), sisa chlor, zat organik (KMnO_4), dan tingkat keasaman air (pH). Variabel yang tidak dapat digunakan yaitu tawas karena data tidak tersedia di dalam data publikasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan untuk mendukung penelitian. Tinjauan pustaka yang akan digunakan antara lain diagram kontrol I-MR, pengujian korelasi antar variabel dan pemeriksaan asumsi normal multivariat, diagram kontrol *Improved Generalized Variance* serta T^2 Hotelling, identifikasi penyebab proses *out of control*, dan analisis kapabilitas proses.

2.1. Diagram Kontrol I-MR

Diagram kontrol I-MR merupakan diagram kontrol yang dapat digunakan untuk *monitoring* mean dan varians untuk data univariat dengan ukuran subgrup 1. Untuk monitoring varians, digunakan diagram MR dengan *Upper Control Limit*, *Center Line*, dan *Lower Control Limit* sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$\begin{aligned} UCL &= D_4 \overline{MR} \\ CL &= \overline{MR} \\ LCL &= D_3 \overline{MR} \end{aligned} \quad (2.1)$$

MR merupakan *moving range* dari 2 observasi berturut-turut yang didefinisikan sebagai berikut.

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad (2.2)$$

Untuk memonitoring mean, digunakan diagram I dengan batas kendali pada persamaan (2.3).

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \\ CL &= \bar{\bar{x}} \\ LCL &= \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

dimana \bar{x} merupakan rata-rata proses. d_2 , D_3 , dan D_4 diperoleh dari tabel faktor pembentuk diagram kontrol variabel (Montgomery, 2013) dengan $n=2$.

2.2. Pengujian Hubungan Variabel

Uji Bartlett dapat digunakan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara variabel pengamatan dalam kasus multivariat. Jika antar variabel x_1, x_2, \dots, x_p bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel merupakan matriks identitas. Hipotesis yang digunakan dalam uji Bartlett adalah sebagai berikut.

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel tidak berkorelasi)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel saling berkorelasi)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut (Morrison, 2005).

$$\chi^2 = - \left(m - 1 - \frac{2p+5}{6} \right) \ln |\mathbf{R}| \quad (2.4)$$

keterangan:

m = jumlah observasi

p = jumlah variabel

\mathbf{R} = matriks korelasi antar variabel

$$= \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \cdots & r_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

dimana:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (2.5)$$

$$j = 1, 2, \dots, p$$

$$k = 1, 2, \dots, p$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

Daerah penolakan H_0 yaitu saat $\chi^2 > \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ dimana

$\chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ diperoleh dari tabel *Chi-Square* dengan p merupakan jumlah karakteristik kualitas. Apabila H_0 ditolak maka variabel pengamatan dapat dikatakan saling berhubungan dan dapat dilakukan analisis multivariat.

2.3. Pemeriksaan Normal Multivariat

Analisis multivariat adalah salah satu teknik statistik yang digunakan untuk menganalisis data yang terdiri dari banyak variabel, serta diduga terdapat keterkaitan antara satu variabel dengan variabel yang lainnya.

Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan untuk memperkuat dugaan bahwa data sudah berdistribusi normal multivariat sebagai asumsi dasar yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis selanjutnya. QQ-plot merupakan salah satu metode yang dapat digunakan. Untuk menyusun QQ-plot, langkah pertama yaitu menghitung nilai d^2_i yang didapat dari persamaan berikut.

$$d^2_i = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}), i = 1, 2, \dots, m \quad (2.6)$$

keterangan:

\mathbf{x}_i = objek pengamatan ke- i

m = jumlah pengamatan

\mathbf{S}^{-1} = invers matriks varians-kovarians yang berukuran $p \times p$

p = jumlah variabel

QQ-plot disusun antara nilai jarak kuadrat yang telah diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar dengan $q_{((j-0.5)/n)}$ dimana $q_{((j-0.5)/n)}$ merupakan quantil $((j-0.5)/n)100$ dari distribusi chi-square dengan derajat bebas p . Apabila grafik berbentuk garis lurus, maka data dapat dinyatakan berdistribusi normal multivariat (Johnson & Wichern, 2007). Untuk meyakinkan bahwa grafik yang didapat

berbentuk garis lurus/linear, dapat dilakukan pengujian hipotesis menggunakan koefisien korelasi r_q antara $q_{(j-0.5)/n}$ dan $d^2_{(i)}$.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Koefisien korelasi r_q dihitung menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut.

$$r_q = \frac{\sum_i^m (d_{(i)}^2 - \bar{d}^2)(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_i^m (d_{(i)}^2 - \bar{d}^2)} \sqrt{\sum_i^m (q_i - \bar{q})}} \quad (2.7)$$

dengan kriteria penolakan H_0 adalah nilai r_q kurang dari nilai kritis pada tabel koefisien korelasi untuk uji normalitas (Filiben, 1975). Apabila H_0 gagal ditolak maka $q_{(j-0.5)/n}$ dan $d^2_{(i)}$ memiliki hubungan linier sehingga apabila dibentuk grafik akan membentuk garis lurus, dan dapat disimpulkan bahwa data mengikuti distribusi normal multivariat.

2.4. Diagram Kontrol *Improved Generalized Variance*

Sebelum mengendalikan mean proses, terlebih dahulu dilakukan pengendalian terhadap variabilitas proses. Varians proses ditulis dalam matriks kovarian Σ berukuran $p \times p$, dimana elemen diagonal utama dari matriks ini merupakan varians dari variabel proses secara individu dan elemen lainnya merupakan kovarian (Montgomery, 2013). Pada pengendalian kualitas air, digunakan diagram kontrol untuk pengamatan individu karena ukuran subgrup $n = 1$, oleh karena itu digunakan diagram kontrol *Improved Generalized Variance* (GV) Individu. Apabila $x_1, x_2, \dots, x_m, x_{m+1}$ merupakan sampel random berdistribusi normal p -variat dengan matriks kovarians Σ definit positif, matriks D dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$D = SS_{m+1} - SS_m \quad (2.8)$$

dimana:

$$SS_k = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}_k)(X_i - \bar{X}_k)' \quad (2.9)$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i \quad (2.10)$$

$$k = m \text{ dan } k = m+1$$

Diagram kendali dapat disusun dengan nilai statistik F menggunakan persamaan sebagai berikut (Djauhari, 2010).

$$F = \sqrt{\text{Tr}(\mathbf{D}^2)} \quad (2.11)$$

Batas kendali untuk diagram kontrol ini terdiri dari Batas Kendali Atas atau *Lower Control Limit* (LCL) dan Batas Kendali Bawah atau *Upper Control Limit* (UCL) yang didekati menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$UCL = c\chi_{\alpha,r}^2 \quad (2.12)$$

$$LCL = 0$$

dimana $\chi_{\alpha,r}^2$ merupakan nilai yang didapat dari tabel Chi Square dengan α sebagai taraf signifikansi, $c = \text{Tr}(\mathbf{S}^2) / \text{Tr}(\mathbf{S})$ dan $r = \{\text{Tr}(\mathbf{S})\}^2 / \{\text{Tr}(\mathbf{S}^2)\}$.

Matriks \mathbf{S} merupakan matriks kovarian sampel untuk mengestimasi $\mathbf{\Sigma}$. Pada data observasi yang bersifat individu, matriks ini dapat dituliskan sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{2(m-1)} \quad (2.13)$$

Matriks \mathbf{V} diperoleh dari nilai \mathbf{v}_i yang merupakan matriks selisih antar observasi. Matriks \mathbf{V} didefinisikan pada persamaan (2.14).

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}'_1 \\ \mathbf{v}'_2 \\ \vdots \\ \mathbf{v}'_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)' \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)' \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)' \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

dimana $i = 1, 2, \dots, m-1$. Jika terdapat nilai yang jatuh di atas batas kendali maka dapat dinyatakan bahwa varians proses tidak terkendali.

2.5. Diagram Kontrol T^2 Hotelling

Diagram kontrol T^2 Hotelling merupakan diagram kontrol yang dapat digunakan untuk mengendalikan vektor rata-rata suatu proses dalam data multivariat. Diagram kontrol T^2 Hotelling untuk pengamatan subgrup serta individu memiliki batas kontrol yang berbeda. Statistik untuk T^2 Hotelling pengamatan individu adalah sebagai berikut.

$$T_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}) \quad (2.15)$$

keterangan:

\mathbf{x}_i = vektor pengamatan ke- i

$\bar{\mathbf{x}}$ = vektor mean masing-masing variabel

\mathbf{S} = matriks varian kovarian sampel

$i = 1, 2, \dots, m$

Pada data observasi yang bersifat individu untuk sejumlah m observasi maka matriks varian kovarian \mathbf{S} didapatkan melalui persamaan (2.13) dan (2.14).

Batas kendali yang digunakan dalam diagram kontrol ini yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} UCL &= \frac{p(m-1)(m+1)}{m(m-p)} F_{(\alpha; p, m-p)} \\ LCL &= \frac{p(m-1)(m+1)}{m(m-p)} F_{(1-\alpha; p, m-p)} \end{aligned} \quad (2.16)$$

dimana $F_{(\alpha, p, m-p)}$ menyatakan nilai yang diperoleh dari tabel F dengan menggunakan taraf signifikansi α , m merupakan jumlah observasi, dan p adalah jumlah karakteristik kualitas. Suatu proses dinyatakan tidak terkendali apabila terdapat pengamatan yang jatuh di atas batas kendali atas atau di bawah batas kendali bawah. Identifikasi variabel yang menyebabkan akan dilakukan apabila proses dinyatakan tidak terkendali.

2.6. Identifikasi Penyebab Varians Proses *Out of Control*

Dalam bidang *quality control*, *Principal Component Analysis* juga dapat digunakan untuk mendeteksi adanya pergeseran proses bersama dengan diagram kontrol multivariat (Saporta & Ndeye, 2009). *Principal component* atau komponen utama adalah kombinasi linear dari p variabel random x_1, x_2, \dots, x_p yang mampu menjelaskan variasi dari variabel awal. Variasi dari komponen ke- i adalah nilai eigen ke- i (λ_i), dimana nilai eigen dari matriks A yang berukuran $p \times p$ memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (2.17)$$

Identifikasi variabel penyebab proses *out of control* dilakukan terhadap sejumlah k komponen terpilih. Variabel penyebab varians proses *out of control* merupakan variabel dengan bobot tertinggi pada vektor eigennya (Matanmi, 2011).

2.7. Identifikasi Penyebab Mean Proses *Out of Control*

Apabila terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali pada diagram kontrol T^2 Hotelling, dapat dilakukan pemeriksaan mengenai variabel yang menyebabkan hal tersebut melalui dekomposisi nilai T^2 sehingga dapat diketahui kontribusi masing-masing variabel (Montgomery, 2013). Apabila pengamatan ke- i jatuh di luar batas kendali, maka nilai T_i^2 untuk pengamatan tersebut diuraikan sebagai berikut.

$$h_j = T_i^2 - T_{(j)}^2 \quad (2.18)$$

Nilai h_j pada persamaan (2.18) merupakan indikator dari kontribusi variabel ke- j untuk keseluruhan statistik. Jika nilai $h_j < \chi_{(\alpha,1)}^2$ maka variabel ke- j merupakan penyebab pengamatan yang *out of control*.

2.8. Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses menunjukkan kemampuan proses dalam menghasilkan produk/*output* yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Proses yang telah terkendali secara statistik belum dapat diartikan bahwa setiap produk hasil produksi telah memenuhi standar spesifikasi konsumen atau perusahaan (Bass, 2007). Untuk

mendeteksi hal ini, dapat digunakan indeks kapabilitas proses berupa C_p dan C_{pk} . C_p dan C_{pk} untuk data *univariate* dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (2.19)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2.20)$$

dimana σ diestimasi dengan \bar{R}/d_2 dan

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (2.21)$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (2.22)$$

Indeks C_p menunjukkan rasio antara variasi sampel dengan variasi yang diperbolehkan, sementara itu indeks C_{pk} menunjukkan persebaran dan pemusatan sampel terhadap nilai target. Apabila nilai $C_p = 1$ maka dapat dikatakan bahwa variasi proses sama dengan variasi yang diperbolehkan, sementara itu apabila $C_p > 1$ maka variasi yang diperbolehkan telah melebihi variasi proses, sehingga proses dapat dikatakan memiliki kapabilitas yang baik. Sedangkan apabila $C_p < 1$ maka variansi proses melebihi variansi yang diperbolehkan sehingga kapabilitas proses masih kurang baik. Apabila nilai $C_{pk} = C_p$ maka proses berada tepat di tengah-tengah batas spesifikasi dan apabila nilai $C_{pk} < C_p$ maka proses tidak berada tepat di tengah batas spesifikasi.

Terdapat 4 variabel yang digunakan dalam penelitian ini, oleh karena itu digunakan indeks kapabilitas proses multivariat yaitu MC_p dan MC_{pk} . Kapabilitas multivariat dapat dihitung melalui rata-rata geometri dengan persamaan berikut.

$$MC_p = \left(\prod_{k=1}^p C_p(X_k) \right)^{1/p} \quad (2.23)$$

$$MC_{pk} = \left(\prod_{k=1}^p C_{pk}(X_k) \right)^{1/p} \quad (2.24)$$

Apabila nilai $MC_p < 1$ maka kinerja proses cenderung kurang baik secara multivariat ditinjau dari presisi produksi, dan apabila $MC_{pk} < 1$ maka kinerja proses kurang bagus ditinjau dari akurasi dan presisi produksi. Nilai MC_p dan $MC_{pk} > 1$ mengindikasikan bahwa proses telah memiliki kinerja proses yang cukup baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan konsumen atau perusahaan.

2.9. IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya

Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) Ngagel I adalah instalasi penjernihan milik PDAM Surabaya yang dibangun pertama kali sebelum kelima instalasi lainnya dibangun. Instalasi ini berfungsi mengolah air baku yang diambil dari sungai di Surabaya melalui sistem aliran gravitasi pada dam Jagir. IPAM Ngagel I berdiri dan beroperasi sejak tahun 1922. Instalasi ini baru diserahkan pada pemerintah Republik Indonesia pada tahun 1950. Awalnya, instalasi ini memiliki kapasitas sebesar 60 liter/detik. Karena jumlah penduduk Kota Surabaya yang terus meningkat, maka kebutuhan akan air bersih juga semakin bertambah. Oleh karena itu IPAM Ngagel I terus meningkatkan kapasitasnya menjadi 350 liter/detik pada tahun 1954, pada tahun 1980 meningkat menjadi 1000 liter/detik, kemudian menjadi 1500 liter/detik pada tahun 1994, dan sejak tahun 1996 kapasitasnya telah mencapai 1800 liter/detik.

2.10. Proses Penjernihan Air

Sebelum menjadi air layak minum, air terlebih dahulu melalui serangkaian proses penjernihan serta pencampuran bahan-bahan tertentu. Tahapan proses penjernihan air telah dijelaskan dalam beberapa tahap sebagai berikut.

1. Intake

Bangunan *intake* berfungsi sebagai bangunan pertama yang dimasuki air. *Intake* dilakukan penyaringan barang-barang yang ikut tergenang dalam air sungai. Air dari sungai di Surabaya masuk dengan sistem gravitasi langsung dari pintu air dam Jagir melalui kanal I dan II. Setelah memasuki bangunan intake, selanjutnya air masuk melewati kanal.

2. Kanal

Kanal I dihubungkan dengan kanal II oleh kanal pembagi berpintu. Kanal I berfungsi sebagai pengendap partikel kasar dan kanal II berfungsi sebagai tempat tahap prasedimentasi. Pada ujung awal kanal II, dilakukan aerasi untuk memberikan rasa segar pada air serta mengoksidasi zat yang mudah menguap dengan menggunakan *blower*. Selain itu pada kanal II dibubuhkan larutan KMnO_4 yang berfungsi sebagai bahan oksidator serta penjernih air. Selanjutnya, air akan masuk ke dalam bangunan *Water Treatment Plant* (WTP). Pada bangunan ini, terdapat 4 unit tahapan proses yang terjadi yaitu unit koagulasi, unit flokulasi, unit sedimentasi, dan unit filtrasi.

a. Koagulasi

Tujuan proses koagulasi adalah mengumpulkan zat padat yang melayang. Pada proses ini dilakukan destabilisasi partikel koloid pada air sungai dengan menambahkan bahan kimia berupa tawas atau melakukan pengadukan cepat (*rapid mixing*).

b. Flokulasi

Flokulasi dilakukan untuk mencampur bahan flokulan polimer/dukem, agar berbentuk flok yang mudah mengendap. Hal ini dilakukan dengan pengadukan lambat (*slow mixing*). Air pada bak flokulator juga dibubuhkan senyawa kimia yang berfungsi untuk mengontrol bau, rasa, dan warna air saat musim kemarau.

c. Sedimentasi

Pada unit sedimentasi, akan dilakukan pengendapan partikel-partikel koloid yang telah didestabilisasi oleh unit sebelumnya. Koloid dalam hal ini biasanya berupa lumpur, sehingga dalam unit ini air dan lumpur akan terpisah. Setelah itu, air dapat memasuki tahap penyaringan atau filtrasi.

d. Filtrasi

Pada filter terdapat media penyaring, dimana air akan melewati media ini dan partikel dalam air yang ukurannya lebih besar dari rongga media akan tertahan. Partikel yang tertahan biasanya berupa antrasit, pasir silika, dan kerikil silika. Setelah melalui proses filtrasi, dilakukan desinfeksi chlorinasi terhadap air.

3. Desinfeksi Chlorinasi

Tujuan utama proses desinfeksi adalah memastikan kesesuaian air dengan standar bakteriologi untuk air minum karena air hasil filtrasi masih berpeluang mengandung bakteri. Proses desinfektasi yang dilakukan adalah membubuhkan gas chlor setelah penyaringan sebelum air masuk tandon.

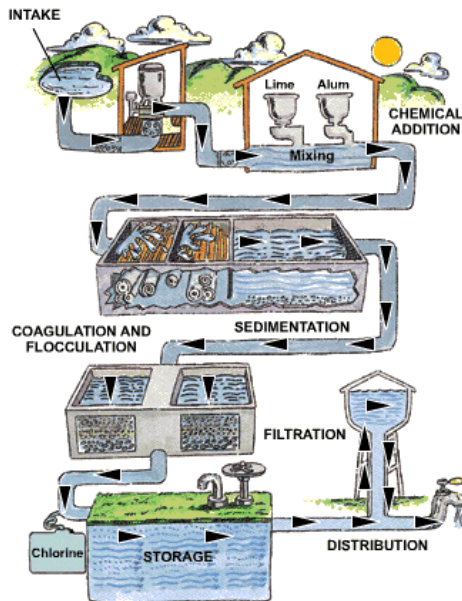
4. Reservoir

Sebelum didistribusi, air bersih masuk ke dalam reservoir terlebih dahulu. Reservoir merupakan tempat penampungan air untuk sementara sebelum dialirkan melalui pipa-pipa dengan berbagai ukuran.

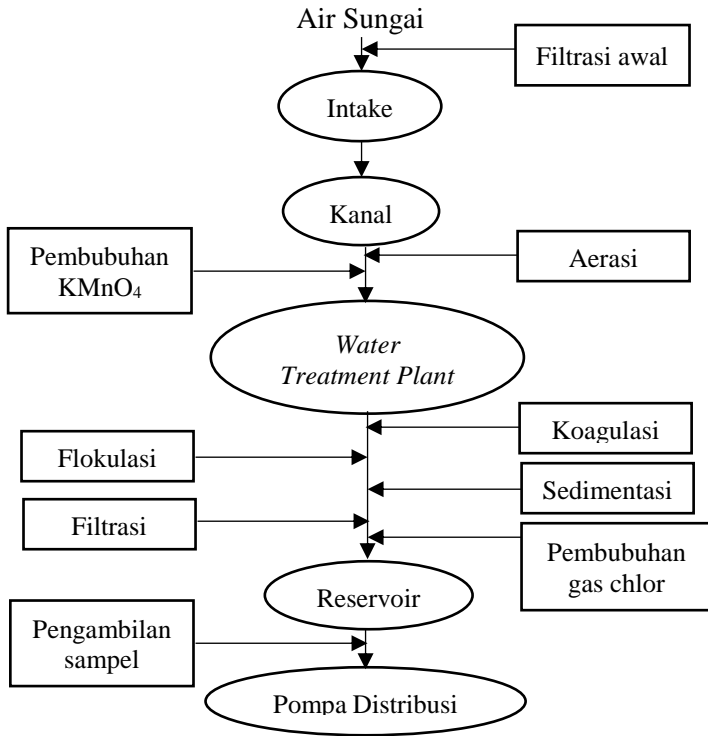
5. Pompa distribusi

Selanjutnya air dapat didistribusikan dari tandon air bersih melalui pompa distribusi.

Skema dan alur tahapan proses penjernihan air telah ditampilkan pada Gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2. 1 Skema Proses Penjernihan Air



Gambar 2. 2 Alur Proses Penjernihan Air Bersih

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Sumber Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PDAM Surya Sembada Surabaya, khususnya pada IPAM Ngagel I. Data yang digunakan merupakan data Bulan Januari sampai Mei 2014. Karena data yang digunakan adalah data per-hari, maka ukuran subgrup yang digunakan adalah 1. Struktur data yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Struktur Data

Observasi ke-	Karakteristik Kualitas ke- p			
	X_1	X_2	...	X_p
1	X_{11}	X_{21}	\vdots	X_{p1}
2	X_{12}	X_{21}	\vdots	X_{p2}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
m	X_{1m}	X_{2m}	...	X_{pm}

dimana p = jumlah karakteristik kualitas dan m = jumlah observasi. Dalam penelitian ini digunakan nilai $p = 4$ dan $m = 98$.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam penelitian ini telah disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. 2 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan Pengukuran	Batas Spesifikasi
X_1	<i>Turbidity</i>	Ntu	Maksimum 5
X_2	KMnO ₄	Mg/L	Maksimum 10
X_3	Sisa chlor	Mg/L	0.2 – 1
X_4	pH		6.5 – 8.5

Batas spesifikasi kekeruhan, pH, dan KMnO₄ mengacu pada Permenkes Nomor 492 Tahun 2010 dan sisa chlor mengacu pada Permenkes Nomor 736 Tahun 2010.

Definisi operasional dari masing-masing variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kekeruhan (*Turbidity*)

Air dikatakan keruh apabila air mengandung banyak partikel bahan tersuspensi seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton, dan zat-zat halus lainnya. Kekeruhan pada air merupakan hal yang harus diperhatikan karena kekeruhan dapat mengurangi kualitas air dari segi estetika, mempersulit usaha penyaringan, dan mengurangi efektivitas usaha desinfeksi.

2. Zat Organik (KMnO_4)

Air dengan kandungan zat organik yang tinggi dapat menimbulkan warna, bau, dan rasa air yang tidak diinginkan. Selain itu apabila zat organik ikut dikonsumsi dalam jumlah yang tidak seharusnya maka dapat menjadi racun di dalam tubuh manusia.

3. Sisa chlor

Chlor merupakan zat kimia yang masih memiliki daya desinfeksi hingga beberapa jam setelah pembubuhannya. Dalam proses produksi air minum, chlor digunakan untuk memastikan bahwa air bebas dari kontaminasi bakteri. Kandungan chlor yang terlalu banyak dalam tubuh dapat merusak jaringan tubuh, membunuh bakteri baik di dalam tubuh, serta memperburuk keadaan asam lambung.

4. pH

pH (*potential Hydrogen*) merupakan kadar asam yang ada pada suatu larutan. Air yang memiliki nilai pH kurang dari 7 merupakan air dengan sifat asam, sementara pH lebih 7 merupakan air alkali atau basa. pH dengan angka ekstrim atau di atas 11 dapat menyebabkan iritasi mata serta kulit, dan sebaliknya pH di bawah 4 dapat menyebabkan iritasi karena efek korosif.

Pemilihan keempat karakteristik kualitas didasarkan kepada pengaruhnya terhadap produksi air minum. Apabila variabel-variabel ini memiliki nilai terlalu jauh dari batas spesifikasi yang ditetapkan maka air dapat dikatakan tidak layak minum karena dapat menjadi racun di dalam tubuh manusia.

3.3. Cara Pengambilan Sampel dan Pengukuran Sampel

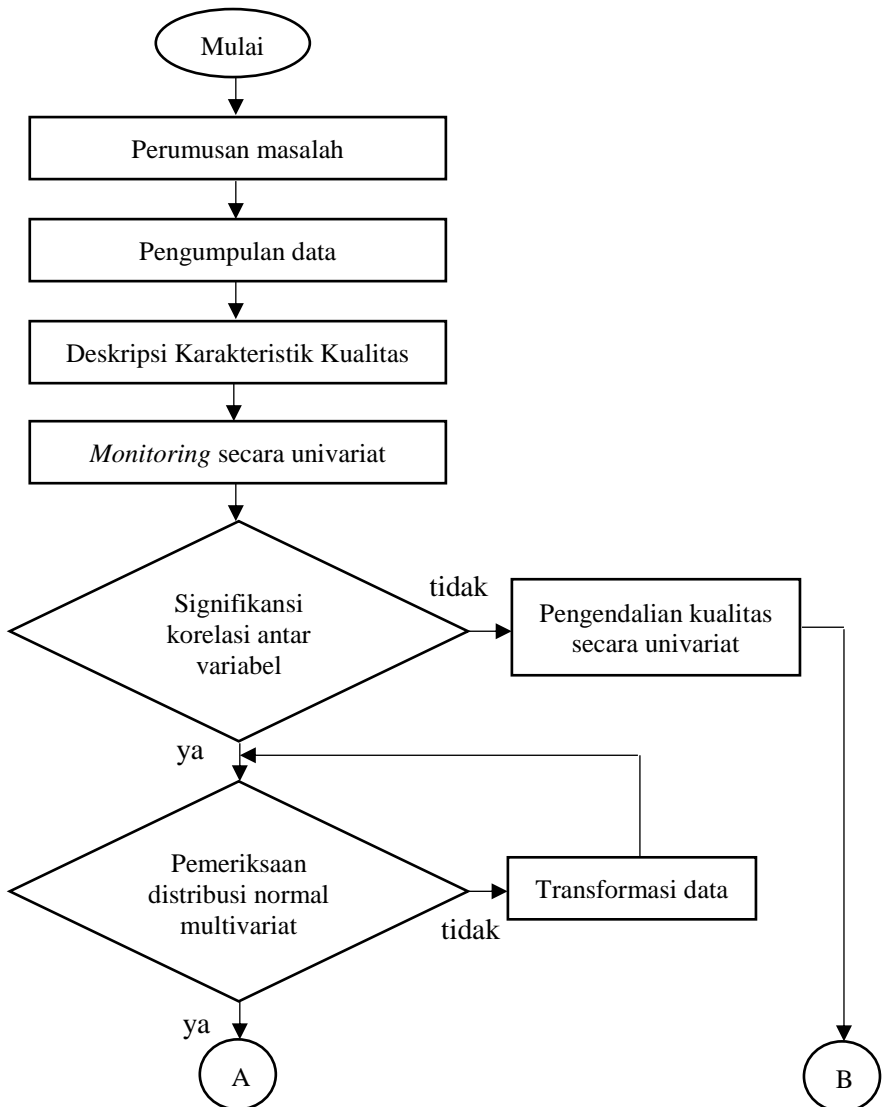
Pengambilan sampel air di IPAM Ngagel I dilakukan oleh bagian Laboratorium Ngagel. Pengambilan sampel dilakukan di aliran pipa setelah reservoir atau sebelum air didistribusikan melalui pompa distribusi. Sampel diambil dan diukur setiap harinya, dengan cara mengambil sampel air secara otomatis kemudian diukur menggunakan alat pengukur masing-masing variabel.

3.4. Langkah Analisis

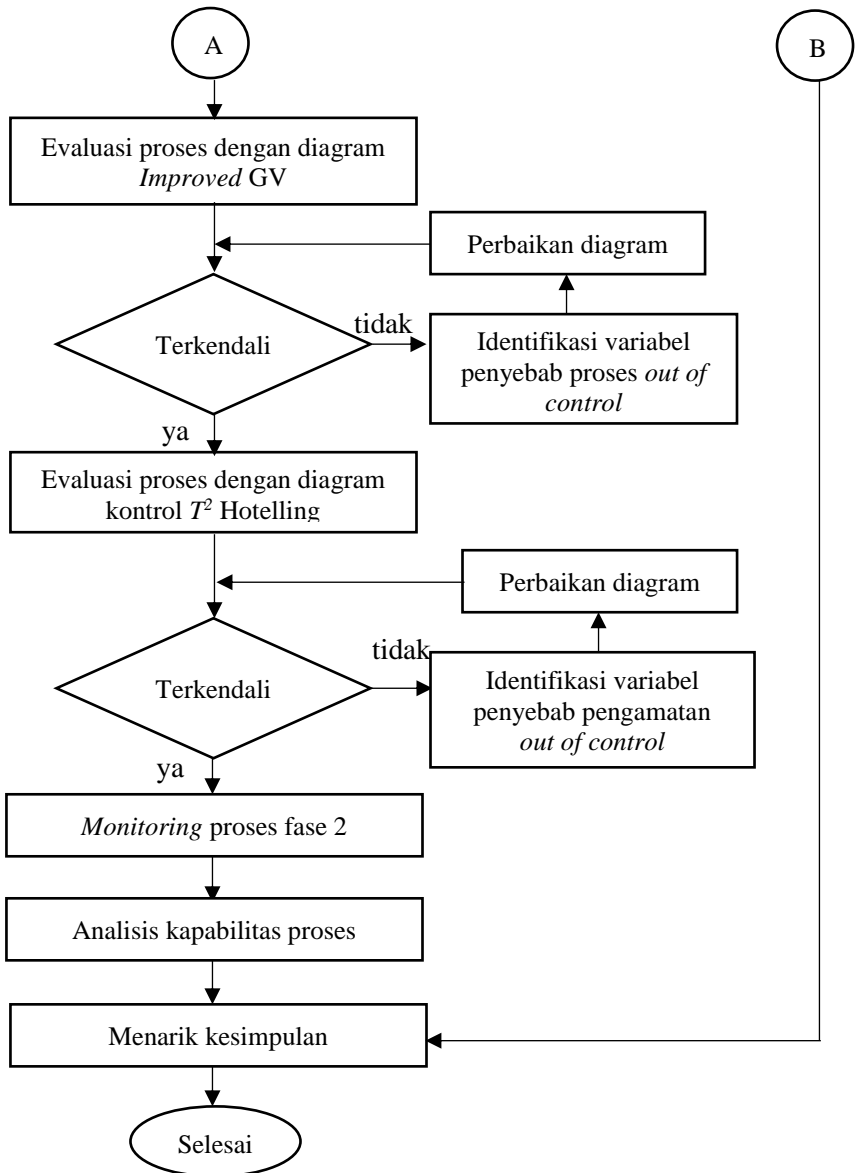
Langkah analisis yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Mendefinisikan karakteristik kualitas air minum menggunakan statistika deskriptif yaitu rata-rata, varians, nilai maksimum, nilai minimum, serta histogram yang juga menampilkan batas spesifikasi masing-masing variabel.
2. *Monitoring* karakteristik kualitas secara univariat dengan menggunakan diagram kontrol I-MR sesuai dengan batas kendali pada persamaan (2.1) dan (2.3).
3. Melakukan pengujian korelasi antar variabel.
4. Melakukan pemeriksaan distribusi normal multivariat.
5. Melakukan pengendalian variabilitas proses produksi dengan menggunakan diagram kontrol *Improved GV* sesuai dengan batas kendali pada persamaan (2.12) serta mengidentifikasi variabel penyebab proses *out of control*.
6. Melakukan pengendalian rata-rata proses produksi air minum dengan menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling sesuai dengan batas kendali pada persamaan (2.16) serta mengidentifikasi variabel penyebab pengamatan jatuh di luar batas kendali.
7. Melakukan *monitoring* fase 2 menggunakan batas kendali standard yang diperoleh dari fase 1.
8. Menganalisis kapabilitas proses produksi air minum menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24).

Langkah analisis yang telah dijelaskan ditampilkan pada diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai pengendalian kualitas air minum produksi IPAM Ngagel I PDAM Surabaya. Karakteristik kualitas air yang diamati antara lain kekeruhan air (*Turbidity*), kandungan zat organik (KMnO_4), sisa zat chlor, dan tingkat keasaman air (pH). Data dibagi menjadi 2 fase, dimana fase 1 adalah data Bulan Januari-Maret 2014 dan fase 2 adalah data Bulan April-Mei 2014. Sebelum melakukan pengendalian kualitas, dilakukan deskripsi data terlebih dahulu dilanjutkan dengan *monitoring* proses secara univariat. Setelah itu, dilakukan pemeriksaan asumsi normal multivariat dan korelasi antar karakteristik kualitas, apabila asumsi telah terpenuhi maka dilakukan pengendalian kualitas secara multivariat terhadap mean dan variabilitas proses pada data fase 1 dengan menggunakan diagram kontrol *Improved GV* dan T^2 Hotelling. Apabila terdapat pengamatan yang *out of control* maka dilakukan pemeriksaan variabel penyebabnya menggunakan *Principal Component Analysis* dan dekomposisi nilai T^2 . Setelah mengetahui penyebab proses yang *out of control*, dibuat batas kendali standard yang telah stabil atau dalam keadaan *in control* sehingga diperoleh batas kendali baru yang reliabel dan dapat digunakan untuk *monitoring* proses selanjutnya. Setelah itu, akan dilakukan analisis kapabilitas proses.

4.1. Deskripsi Karakteristik Kualitas Air

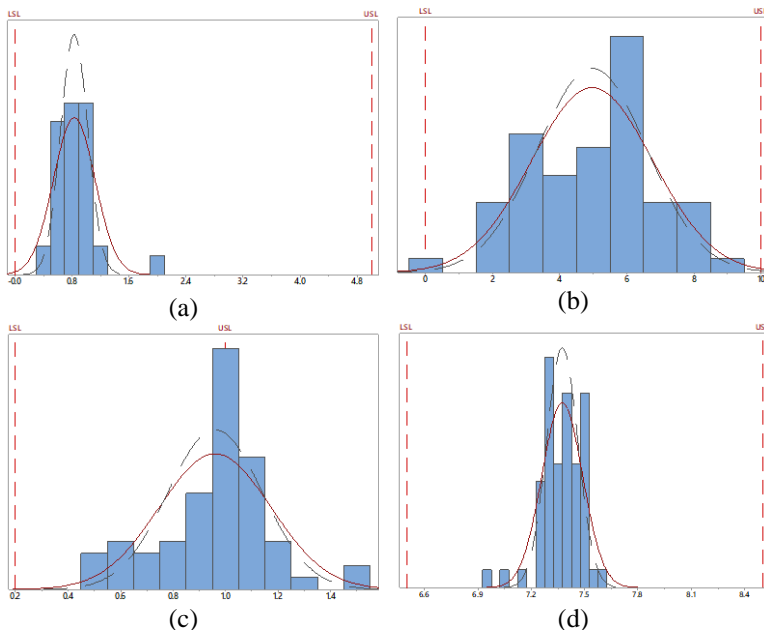
Untuk mendapatkan informasi mengenai deskripsi data karakteristik air yang akan diolah, maka digunakan statistika deskriptif yang telah disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Air

Variabel	Mean	Varians	Min	Max	Spesifikasi
<i>Turbidity</i>	0.8238	0.0849	0.3400	1.9500	Max. 5
KMnO_4	4.966	3.247	0.277	9.006	Max. 10
Sisa Chlor	0.9600	0.0452	0.5000	1.5000	0.2 – 1
pH	7.3739	0.0131	6.9500	7.5800	6.5 – 8.5

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata dari keempat variabel telah berada dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan. Untuk variabel *Turbidity*, nilai maksimum sebesar 1.95 cenderung jauh dari spesifikasi maksimum yang ditetapkan, yaitu 5. Nilai maksimum Sisa Chlor yaitu 1.5 telah melebihi batas spesifikasi yang ditetapkan yaitu 1. Selain Sisa Chlor, variabel lain memiliki nilai maksimum dan minimum di dalam batas spesifikasi. Dari nilai varians pada Tabel 4.1 juga dapat diketahui bahwa pH memiliki keragaman yang cukup kecil.

Selain menggunakan statistika deskriptif, karakteristik data juga dapat diketahui dengan menggunakan histogram. Berikut merupakan histogram untuk ke-empat karakteristik kualitas.



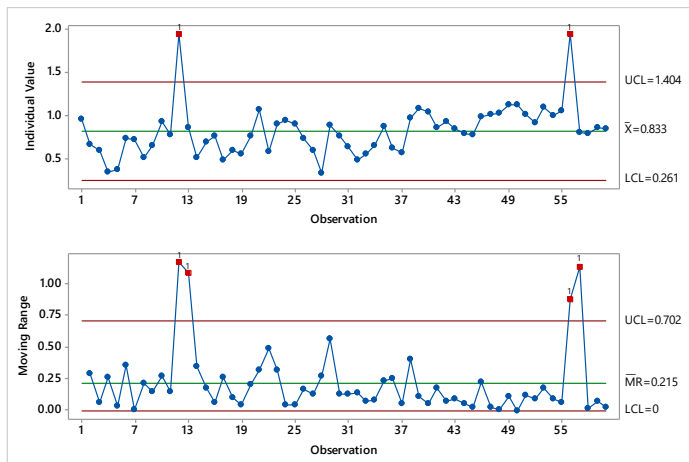
Gambar 4. 1 Histogram (a) Turbidity, (b) KMnO₄, (c) Sisa Chlor, (d) pH

Gambar 4.1 (a) menunjukkan bahwa nilai-nilai dari Turbidity terpusat pada titik yang jauh dari batas spesifikasi atas, serta terdapat nilai yang angkanya cukup jauh melebihi nilai lain.

Histogram dari variabel KMnO_4 pada Gambar 4.1 (b) menunjukkan bahwa seluruh data cenderung berada dalam batas spesifikasi, namun puncak histogramnya tidak berada di titik tengah spesifikasi. Begitu pula dengan variabel Sisa Chlor yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 (c) dimana puncak histogram tidak berada di tengah-tengah batas spesifikasi. Data dari Sisa Chlor menunjukkan bahwa data cenderung memusat pada sekitar nilai batas spesifikasi atas. Sementara itu untuk variabel pH pada Gambar 4.1 (d), histogramnya telah memusat di tengah-batas spesifikasi. Secara umum, ke-empat variabel tersebut memiliki nilai tertentu yang menyebar cukup jauh dari pusat data.

4.2. Monitoring Proses Secara Univariat

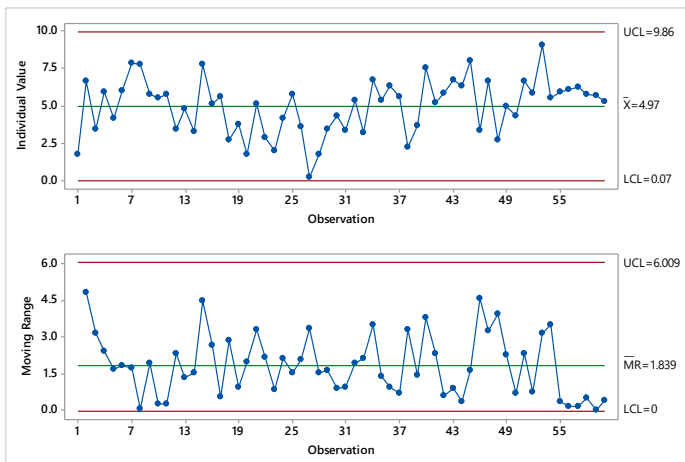
Selama ini pengendalian kualitas yang dilakukan oleh pihak PDAM hanya terfokus secara univariat saja tanpa menghiraukan adanya korelasi antar variabel penelitian. Oleh karena itu pada subbab ini akan dilakukan monitoring proses terlebih dahulu secara univariat sebelum memberikan usulan diagram kontrol baru berupa diagram kontrol multivariat. Diagram kontrol yang digunakan merupakan diagram kontrol untuk data individu, yaitu I-MR. Gambar 4.2 merupakan diagram kontrol I-MR untuk Turbidity.



Gambar 4. 2 Diagram I-MR Turbidity

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa variabilitas dan mean proses Turbidity masih belum terkendali karena terdapat beberapa pengamatan yang berada di luar batas kendali. Diagram I pada Gambar 4.2 juga mengindikasikan mean proses yang bergeser ke atas pada beberapa pengamatan terakhir. Adanya titik yang jatuh di luar batas kendali pada variabel ini sesuai dengan bentuk histogramnya pada Gambar 4.1 (a), yaitu terdapat nilai tertentu yang berada cukup jauh dari pusat data.

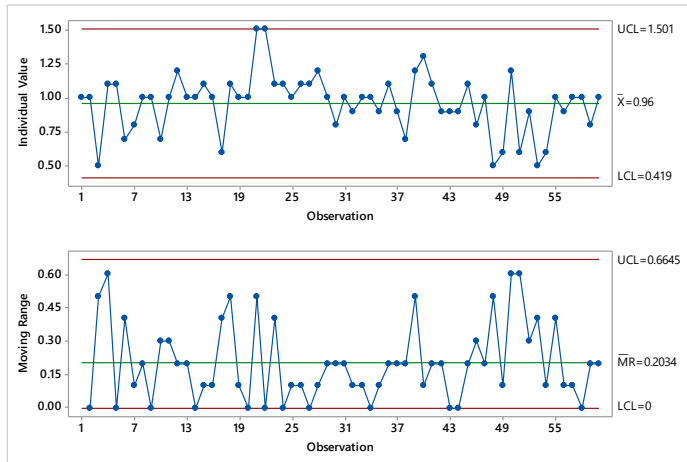
Selanjutnya, dilakukan pengamatan terhadap variabilitas dan mean proses KMnO_4 . Berikut merupakan diagram I-MR untuk KMnO_4 .



Gambar 4. 3 Diagram I-MR KMnO_4

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa diagram MR dari variabel KMnO_4 tidak memiliki pengamatan yang jatuh di luar batas kendali. Sementara itu pada mean proses yang ditunjukkan oleh Diagram I pada Gambar 4.3 juga tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali. Namun, pada beberapa pengamatan terakhir pada diagram I-MR terdapat lebih beberapa titik yang berada pada salah satu sisi saja dari batas kendali, sehingga mean dan varians KMnO_4 belum dapat dinyatakan terkendali secara statistik.

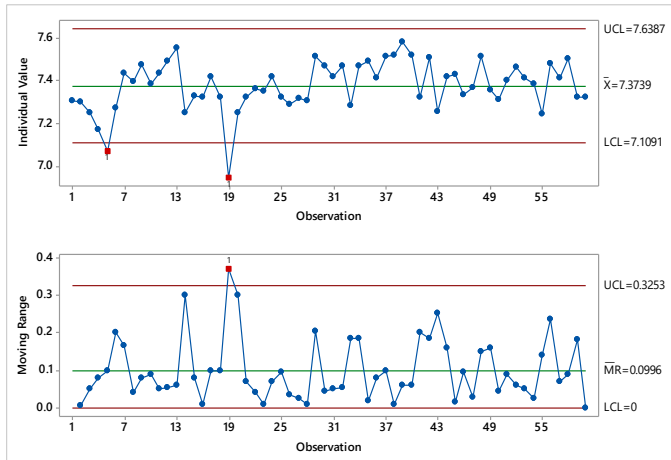
Monitoring selanjutnya dilakukan terhadap Sisa Chlor. Diagram kendali I-MR dari variabel ini telah ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Diagram I-MR Sisa Chlor

Pola grafik kedua pada Gambar 4.4 yang merupakan diagram MR variabel Sisa Chlor menunjukkan bahwa terdapat beberapa pengamatan dengan nilai yang sama. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa tidak terdapat titik yang keluar dari batas kendali, namun pada diagram I-MR terdapat 2 titik berurutan yang jatuh mendekati batas kendali. Hal ini dapat menjadi *early warning* atau peringatan bagi perusahaan bahwa proses pada variabel sisa chlor memerlukan perbaikan.

Kemudian *monitoring* secara univariat dilakukan terhadap variabel terakhir yaitu pH. Diagram I-MR untuk pH telah ditampilkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan grafik kedua pada diagram tersebut, dapat diketahui bahwa variabilitas variabel pH belum terkendali, karena masih terdapat satu pengamatan yang jatuh di luar batas kendali. Mean proses pH juga tidak dapat dinyatakan terkendali karena terdapat satu titik yang jatuh di luar batas kendali yaitu pengamatan ke-5. Namun setelah itu, mean proses cenderung stabil hingga akhir pengamatan.



Gambar 4. 5 Diagram I-MR Variabel pH

Secara umum, masing-masing variabel terlihat belum stabil dan masih memerlukan perbaikan. Setelah diketahui stabilitas proses berdasarkan masing-masing variabel, selanjutnya dilakukan pemeriksaan asumsi untuk membuktikan apakah pengendalian kualitas secara multivariat lebih sesuai untuk diterapkan terhadap proses produksi air di PDAM.

4.3. Pemeriksaan Asumsi

Data harus memiliki korelasi antar variabel serta memenuhi asumsi normal multivariat sehingga dapat melakukan pengendalian kualitas varians dan mean proses secara multivariat. Berikut merupakan pemeriksaan korelasi antar variabel serta distribusi normal multivariat pada data karakteristik kualitas air minum.

4.3.1. Korelasi Antar Karakteristik Kualitas

Pada pengendalian kualitas secara multivariat, variabel yang akan digunakan harus saling berkorelasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji Bartlett dan didapatkan nilai χ^2 sebesar 17.027. Nilai $\chi^2_{0.05,6}$ adalah sebesar 12.59 dan nilai ini lebih kecil dari nilai χ^2 yang telah dihitung, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antar variabel. Output pengujian korelasi telah

ditampilkan pada Lampiran B. Setelah itu, dilakukan pemeriksaan asumsi selanjutnya yaitu distribusi normal multivariat.

4.3.2. Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan untuk data karakteristik kualitas air fase 1 dan fase 2 menggunakan pengujian hipotesis koefisien korelasi r_q dengan hasil sebesar 0.9881. Nilai $r_{\alpha;n}$ pada tabel yaitu 0.986 dengan taraf signifikansi α sebesar 0.05. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa pada fase data karakteristik kualitas air minum telah memenuhi asumsi distribusi normal multivariat.

Dari pemeriksaan asumsi yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa data karakteristik kualitas air minum memiliki variabel yang saling berkorelasi serta mengikuti distribusi normal multivariat. Oleh karena itu, pengendalian kualitas secara multivariat dapat dilakukan.

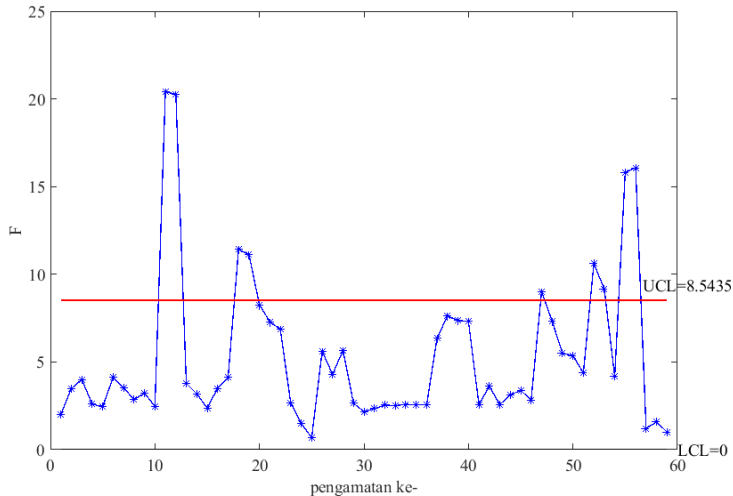
4.4. Pengendalian Kualitas Air Secara Multivariat

Pengendalian kualitas dilakukan melalui monitoring terhadap variabilitas dan mean proses menggunakan diagram kontrol *Improved GV* dan T^2 Hotelling. Pengendalian terhadap variabilitas dilakukan terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pengendalian mean proses. Apabila terdapat pengamatan yang *out of control*, maka akan diidentifikasi variabel yang menyebabkan.

4.5.1. Pengendalian Variabilitas Proses

Diagram IGV yang disusun telah ditampilkan pada Gambar 4.6. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi air Bulan Januari-Maret 2014 belum terkendali secara multivariat, karena terdapat beberapa pengamatan yang keluar dari batas kendali. Pada peta kendali IGV, diketahui bahwa jumlah pengamatan yang diplot direduksi dari 60 pengamatan menjadi 59 pengamatan. Pada fase I, batas kendali atas yang didapatkan adalah sebesar 8.5435 dan terdapat 9 titik yang jatuh di luar batas kendali. Pada diagram kendali multivariat, jumlah pengamatan yang keluar batas kendali berbeda dengan peta kendali univariat, karena penyusunan diagram kendali multivariat dipengaruhi oleh korelasi

antar variabel dimana pada pengamatan ini menyebabkan jumlah titik yang *out of control* pada diagram kendali multivariat lebih banyak daripada jumlah titik yang *out of control* pada diagram kendali univariat.



Gambar 4. 6 Diagram IGV Fase 1

Diagram kontrol yang *out of control* menunjukkan bahwa adanya pengaruh *assignable cause* dalam proses. Dalam melakukan perbaikan proses, perlu diketahui variabel apa yang menyebabkan ketidak-stabilan proses agar PDAM mengetahui variabel apa saja yang menjadi prioritas dalam memperbaikannya.

Principal Component Analysis dapat digunakan untuk mengetahui variabel yang menjadi penyebab utama dalam ketidakstabilan varian proses dengan hasil nilai eigen yang telah dicantumkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai Eigen dan Variabilitas yang Terjelaskan

Nilai Eigen	1.5282	1.0396	0.8258	0.6063
Proporsi	0.382	0.260	0.206	0.152
Kumulatif	0.382	0.642	0.848	1

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan menggunakan nilai eigen pertama, variabilitas proses yang mampu dijelaskan oleh 1 komponen utama hanya sebesar 38.2%. Nilai ini dianggap terlalu kecil untuk mewakili proses. Dengan menggunakan nilai eigen untuk 2 komponen, variabilitas proses yang dijelaskan mencapai 64.2% oleh karena itu untuk menjelaskan kontribusi masing-masing variabel di dalam proses, digunakan 2 komponen dari 4 komponen yang dihasilkan. Variabel utama penyebab proses *out of control* merupakan variabel dengan nilai bobot tertinggi pada komponen tersebut. Tabel 4.3 berikut merupakan nilai bobot masing-masing variabel untuk setiap komponen.

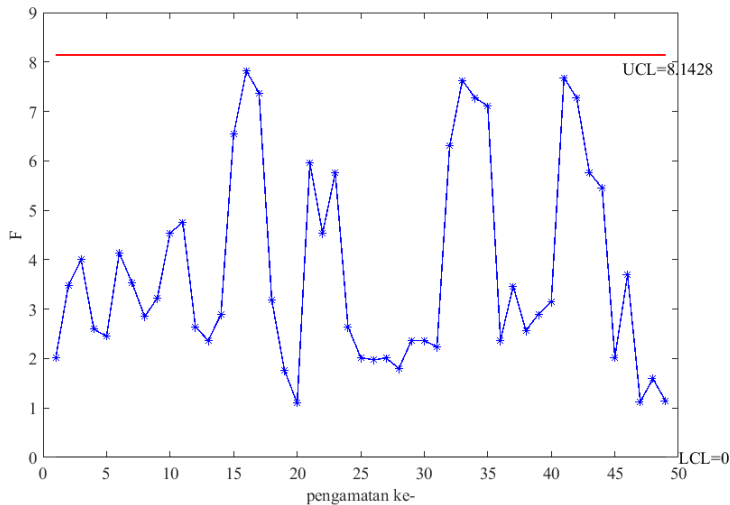
Tabel 4. 3 Bobot Seluruh Variabel untuk Setiap Komponen

Variabel	Komponen			
	1	2	3	4
Turbidity	0.555	0.485	-0.186	0.650
KMnO ₄	0.428	-0.514	0.710	0.222
Sisa Chlor	-0.346	0.649	0.677	0.005
pH	0.624	0.281	0.055	-0.727

Karena pada pemeriksaan ini digunakan 2 komponen, maka dapat disimpulkan bahwa variabel Sisa Chlor dan pH merupakan variabel utama yang membutuhkan perbaikan demi proses produksi air PDAM yang lebih baik karena keduanya memiliki bobot tertinggi pada 2 komponen tersebut. Oleh karena itu, untuk perbaikan variasi proses secara awal dapat dilakukan terhadap kedua variabel ini.

Setelah diketahui penyebab varians proses yang tidak terkendali, diagram kendali dikembalikan ke dalam keadaan *in control* dengan asumsi *assignable cause* telah dihilangkan dari proses melalui perbaikan proses. Hal ini dilakukan dengan cara mengeliminasi pengamatan yang *out of control*. Setelah menyusun diagram kontrol baru tanpa pengamatan yang *out of control*, akan didapatkan batas kendali yang baru dari proses yang stabil, dan dapat digunakan untuk *monitoring* fase selanjutnya.

Diagram IGV yang baru menunjukkan variabilitas proses yang masih *out of control*, karena titik ke-16 masih jatuh di luar batas kendali (Lampiran F). Setelah pengamatan ke-16 tidak disertakan, didapatkan diagram kendali baru yang telah *in control* pada Gambar 4.6. Oleh karena itu batas kendali ini telah reliabel dan dapat digunakan untuk *monitoring* fase selanjutnya. Batas kendali atas yang didapatkan yaitu sebesar 8.1428.



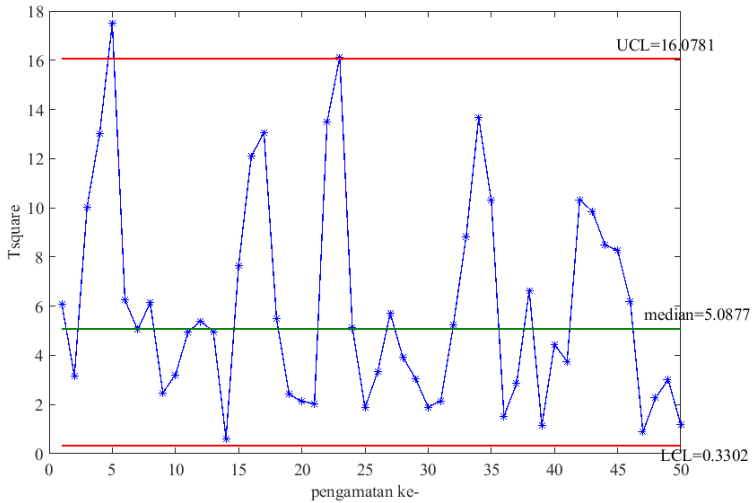
Gambar 4. 7 Diagram IGV Fase 1 Keadaan *In Control*

Setelah menstabilkan variabilitas proses, maka selanjutnya dapat dilakukan pengendalian kualitas dari sisi mean proses.

4.5.2. Pengendalian Mean Proses

Langkah selanjutnya yaitu menyusun diagram kontrol multivariat T^2 Hotelling yang telah ditampilkan pada Gambar 4.8. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa secara multivariat, diagram kontrol mampu mendeteksi 2 pengamatan yang *out of control*, yaitu pengamatan ke-5 dan 23 sehingga mean proses secara multivariat dinyatakan belum terkendali. Karena proses dinyatakan tidak terkendali, maka perlu dilakukan identifikasi untuk mengetahui variabel yang menyebabkan adanya pengamatan yang

jatuh di luar batas kendali, sehingga dapat menjadi variabel yang diprioritaskan dalam perbaikan proses.



Gambar 4. 8 Diagram T^2 Hotelling Fase 1

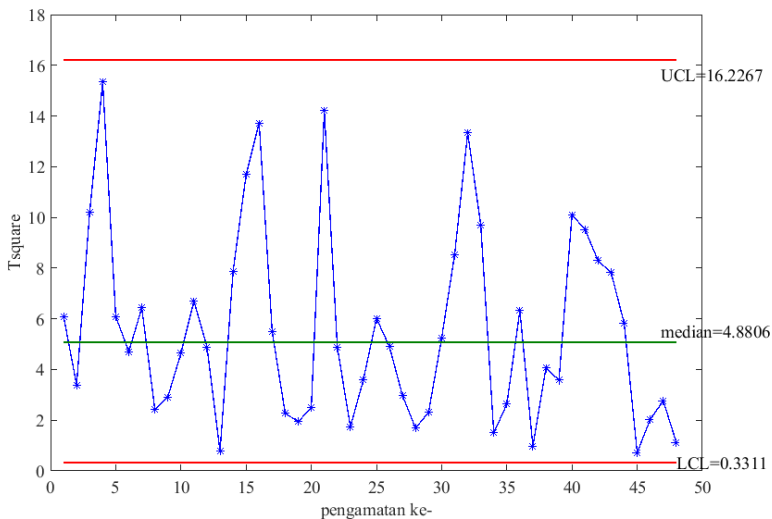
Identifikasi variabel penyebab dilakukan menggunakan dekomposisi nilai T_i^2 dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Identifikasi Variabel Penyebab Pengamatan *Out of Control*

Pengamatan ke-	T_i^2	Variabel	$T_{(p)}^2$	$h_p = T_i^2 - T_{(p)}^2$
5	17.5187	Turbidity	13.9601	3.5586
		KMnO ₄	17.4782	0.0405
		Sisa Chlor	17.5169	0.0018
		pH	7.834	9.6847
23	16.1087	Turbidity	6.8915	9.2172
		KMnO ₄	9.4345	6.6742
		Sisa Chlor	13.9596	2.1491
		pH	15.7179	0.3908

Hasil penelusuran variabel penyebab pengamatan yang *out of control* pada pengamatan ke-5 dan 23 telah ditampilkan pada Tabel 4.4. Apabila nilai h_i yang didapat bernilai lebih dari nilai $\chi^2_{0.0027,1}$ maka variabel tersebut dinyatakan menjadi penyebab pengamatan jatuh di luar batas kendali. Dengan nilai $\chi^2_{0.0027,1}$ sebesar 8.9998 maka dapat disimpulkan bahwa pada pengamatan ke-5, pH merupakan variabel yang menyebabkan pengamatan tersebut keluar dari batas kendali dan *Turbidity* merupakan variabel penyebab pengamatan keluar batas terkendali pada pengamatan ke-23.

Setelah diketahui variabel penyebab proses yang *out of control*, maka hal ini dapat menjadi rekomendasi bagi pihak perusahaan mengenai prioritas perbaikan proses yang akan dilakukan dari segi mean proses. Langkah selanjutnya yaitu membuat batas kendali standard yang dapat dilakukan untuk *monitoring* mean proses fase selanjutnya. Berikut merupakan diagram kendali baru yang didapatkan.

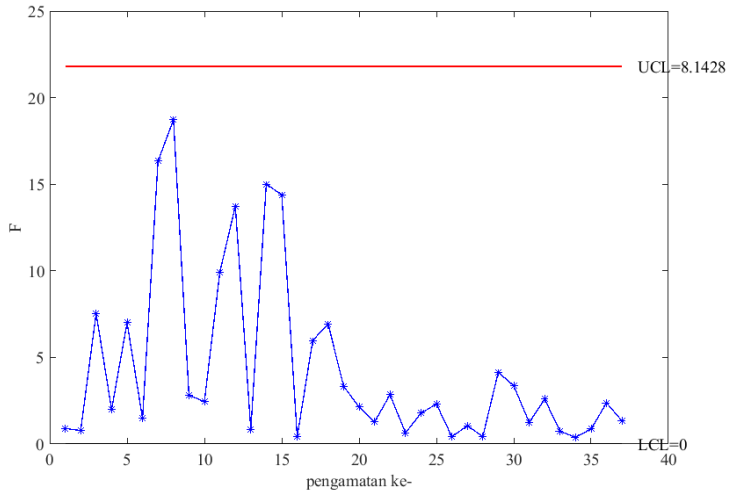


Gambar 4. 9 Diagram T^2 Hotelling Fase Keadaan *In Control*

Dengan asumsi bahwa perusahaan telah melakukan perbaikan proses maka diagram kontrol T^2 Hotelling dapat dikembalikan kepada keadaan *in control* dengan cara eliminasi titik pengamatan yang *out of control* sehingga didapatkan batas kendali baru yang telah ditampilkan pada Gambar 4.9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai batas kendali atas untuk diagram T^2 Hotelling yang didapatkan adalah sebesar 16.2267 dengan nilai median sebesar 4.8806. Batas kendali ini akan digunakan untuk *monitoring* proses selanjutnya.

4.5. Monitoring Kualitas Air Secara Multivariat Fase 2

Setelah mendapatkan batas kendali yang reliabel, maka diagram kontrol dengan batas kendali tersebut dapat digunakan untuk mengetahui apakah proses untuk fase 2 telah stabil atau *in control*. Diagram IGV untuk data fase 2 dengan menggunakan batas kendali dari diagram IGV fase 1 telah disajikan pada Gambar 4.10.

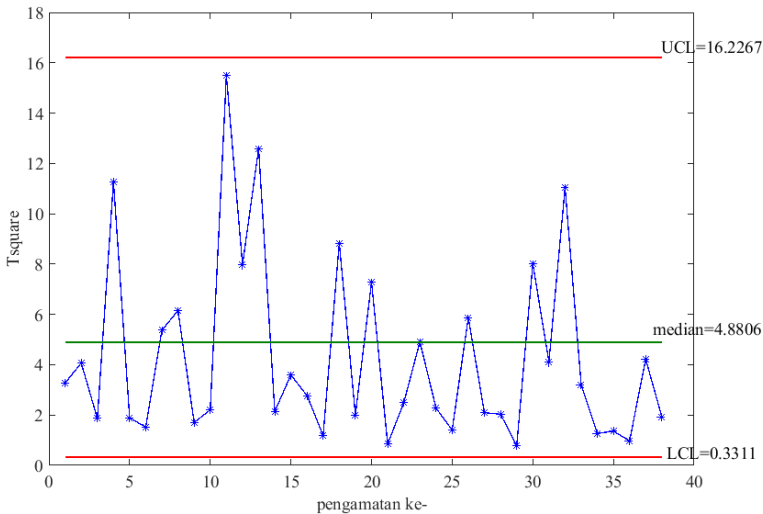


Gambar 4. 10 Diagram IGV Fase 2

Diagram IGV pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pada proses produksi air pada fase 2, tidak terdapat pengamatan yang jatuh di luar batas kendali namun pada grafik tersebut ditunjukkan

bahwa beberapa pengamatan terakhir memiliki nilai yang cenderung menurun, sehingga terdapat indikasi bahwa setelah dilakukan *improvement* pada fase 1, varians prosesnya belum stabil dan perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut.

Monitoring selanjutnya dilakukan terhadap mean proses untuk mengetahui apakah mean proses pada fase 2 telah stabil dengan cara menyusun diagram kendali menggunakan batas kendali dari fase sebelumnya.



Gambar 4. 11 Diagram T^2 Hotelling Fase 2

Tidak berbeda dengan diagram IGV, diagram T^2 Hotelling untuk fase 2 tidak memiliki pengamatan yang *out of control*. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa setelah dilakukan perbaikan proses pada fase 1, mean proses untuk fase selanjutnya dapat menjadi lebih stabil. Namun, *monitoring* dan perbaikan proses harus terus dilakukan dari waktu ke waktu untuk menjaga kualitas hasil proses produksi (*continuous improvement*). Langkah yang dilakukan selanjutnya yaitu analisis kapabilitas untuk mengetahui apakah proses produksi air minum PDAM telah mampu memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

4.6. Indeks Kapabilitas Proses

Pada subbab ini, dilakukan penghitungan kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses produksi air minum kapabel secara multivariat. Karena pada fase 2 ditunjukkan bahwa tidak terdapat pengamatan yang *out of control*, maka dapat digunakan indeks kapabilitas MC_p dan MC_{pk} . Tahap pertama yaitu melakukan perhitungan indeks kapabilitas secara univariat untuk masing-masing variabel, kemudian dilakukan perhitungan untuk kapabilitas secara multivariat dengan menggunakan rumus rata-rata geometri.

Tabel 4. 5 Indeks Kapabilitas Multivariat

MC_p	1.66
MC_{pk}	0.75

Dari Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa nilai MC_p sebesar lebih dari 1, menunjukkan bahwa variasi lebih kecil dari variasi proses yang diperbolehkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja proses telah cukup baik dari segi presisi proses produksi. Sementara itu untuk nilai MC_{pk} yang jauh kurang 1 memberi kesimpulan bahwa dari segi akurasi, proses belum dapat dikatakan memiliki kinerja yang baik. Nilai MC_{pk} yang jauh lebih kecil dari MC_p juga menunjukkan bahwa proses yang diamati secara multivariat tidak terpusat di tengah batas spesifikasi dan belum mencapai kapabilitas potensial, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan untuk proses selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada proses produksi air di PDAM Surabaya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Secara multivariat, proses produksi air minum belum terkendali secara statistik dari segi varians dan mean proses.
2. Variabel utama yang menyebabkan varians proses tidak stabil yaitu Sisa Chlor dan pH.
3. Variabel utama yang menyebabkan mean proses tidak stabil yaitu pH dan *Turbidity*.
4. Penggunaan batas kendali standard dari diagram kontrol yang telah stabil terhadap proses fase 2 menunjukkan bahwa proses menjadi lebih stabil pada fase 2 karena tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali.
5. Indeks kapabilitas proses MC_p sebesar 1.66 menunjukkan bahwa proses memiliki presisi yang baik, namun nilai MC_{pk} sebesar 0.75 berarti proses belum memiliki akurasi yang baik dan secara multivariat proses tidak berada tepat di pusat batas spesifikasi.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini maka saran yang dapat diberikan yaitu pihak PDAM khususnya IPAM Ngagel I lebih mempertimbangkan variabel Sisa Chlor, pH, dan *Turbidity* dalam mengendalikan proses produksi dan menggunakan diagram kontrol yang lebih sensitif dalam pengendalian kualitas proses selanjutnya, seperti diagram MEWMV dan MEWMA.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bass, I. (2007). *Sig Sixma Statistics with Excel and Minitab*. United States of America: McGraw-Hill.
- Djauhari, M. A. (2010). A Multivariate Process Variability Monitoring Based on Individual Observation. *Modern Applied Science Journal Vol. 4, No. 10*.
- Filiben, J. J. (1975). The Probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality. *Technometrics, Vol. 17, No. 1*.
- George, J., Chen, D. Z., & Shaw, P. (2009). Fault Detection of Drinking Water Treatment Process Using PCA and Hotelling's T2 Chart. *International Journal of Computer, Electrical, Autocorrelation, Control, and Information Engineering Vol. 3, No. 2*.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Kourti, T., & MacGregor, J. (1995). Process Analysis, Monitoring and Diagnosis, Using Multivariate Projection Methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 3, No. 21*.
- Matanmi, G. (2011). Principal Component Chart for Multivariate Statistical Process Control. *The Online Journal of Science and Technology, Vol. 2, Issue 2*.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control, Seventh Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Method, Fourth Edition*. Pennsylvania: The Wharton School University of Pennsylvania.
- Nugroho, A. (2006). *Bioindikator Kualitas Air*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Said, N. (2007). Desinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia, Vol. 3, No. 1*.

- Saporta, G., & Ndeye, N. (2009). *Principal Component Analysis: Application to Statistical Process Control*. London: ISTE.
- Usman, A., & Kontagora, N. (2010). Statistical Process Control on Production: A Case Study of Some Basic Chemicals Used in Pure Water Production. *Pakistan Journal of Nutrition* 9 (4) ISSN 1680-5194.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Karakteristik Kualitas Proses Produksi Air Minum Bulan Januari-Mei 2014

No.	Turbidity	KMnO4	Sisa Chlor	pH
1.	0.96	1.822	1	7.305
2.	0.67	6.608	1	7.3
3.	0.61	3.476	0.5	7.25
4.	0.35	5.895	1.1	7.17
5.	0.38	4.195	1.1	7.07
6.	0.74	6.033	0.7	7.27
7.	0.73	7.786	0.8	7.435
8.	0.52	7.709	1	7.395
9.	0.665	5.797	1	7.475
10.	0.935	5.507	0.7	7.385
11.	0.785	5.797	1	7.435
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
91.	1.26	5.1	0.8	7.49
92.	0.765	8.147	1.025	7.76
93.	0.645	6.928	0.675	7.33
94.	0.645	5.688	0.885	7.33
95.	0.61	5.467	0.89	7.41
96.	1	5.169	0.9	7.45
97.	0.97	8.496	1.11	7.54
98.	1.12	4.65	0.99	7.365

Lampiran B. *Output* Korelasi Antar Variabel Menggunakan Software SPSS

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.540
Approx. Chi-Square		13.027
Bartlett's Test of Sphericity	df	6
	Sig.	.009

Lampiran C. Program Matlab Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

```
function n=normultiv(data)
[m,p]=size(data);

s=cov(data);
invs=inv(s);

rata=mean(data);

for j=1:p
    for i=1:m
        d1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
    end
end

d2=d1';
for i=1:m
    d(i,1)=d1(i,:)*invs*d2(:,i);
end
d=d;
dd=sort(d);

for i=1:m
    r(i,1)=(i-0.5)/m;
end
```


Lampiran C. Program Matlab Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat (lanjutan)

```
for i=1:m
    q(i,1)= chi2inv(r(i,1),4);
end
q=q;

x=dd;
y=q;

rq=corr(dd,q)
end
```

Lampiran D. Program Matlab Diagram *Improved Generalized Variance* Individu

```

function g=gv(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;
invs=inv(s);

for i=1:m
    for j=1:p
        xk(i,j)=(1/i)*sum(data(1:i,j));
    end
end

for i=1:m
    for j=1:p
        xik(i,j)=data(i,j)-xk(i,j);
    end
end

for i=1:m-1
    for j=1:p
        SSk=xik(i,:)'*xik(i,:);
        SSk1=xik(i+1,:)'*xik(i+1,:);
        D=SSk1-SSk;
        F(i)=sqrt(trace(D^2));
    end
end

F=F';

```

Lampiran D. Program Matlab Diagram *Improved Generalized Variance* Individu (lanjutan)

```

c=(trace(s^2))/(trace(s));
r=(trace(s)^2)/(trace(s^2));
ucl=c*(chi2inv(1-alpha,floor(r)))
lcl=0;

bka(1:m-1)=ucl;
bkb(1:m-1)=lcl;

x=1:m-1;
y=F;

plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('F')

text(k,ucl,'UCL=8.5435')
text(k,lcl,'LCL=0')

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        o(i)=1; else o(i)=0;
    end
end
out=sum(o)

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        obs(i)=i; else obs(i)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```

Lampiran E. Program Matlab Diagram *Improved* GV tanpa 9
Pengamatan *Out of Control*

```

function g=gv(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;
invs=inv(s);

for i=1:m
    for j=1:p
        xk(i,j)=(1/i)*sum(data(1:i,j));
    end
end

for i=1:m
    for j=1:p
        xik(i,j)=data(i,j)-xk(i,j);
    end
end

for i=1:m-1
    for j=1:p
        SSk=xik(i,:)'*xik(i,:);
        SSk1=xik(i+1,:)'*xik(i+1,:);
        D=SSk1-SSk;
        F(i)=sqrt(trace(D^2));
    end
end

F=F';

```

Lampiran E. Program Matlab Diagram *Improved* GV tanpa 9 Pengamatan *Out of Control* (lanjutan)

```

c=(trace(s^2))/(trace(s));
r=(trace(s)^2)/(trace(s^2));
ucl=c*(chi2inv(1-alpha,floor(r)))
lcl=0;

bka(1:m-1)=ucl;
bkb(1:m-1)=lcl;

x=1:m-1;
y=F;
plot(x,y,'b*- ',x,bka,'k-',x,bkb,'k- ');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('F')

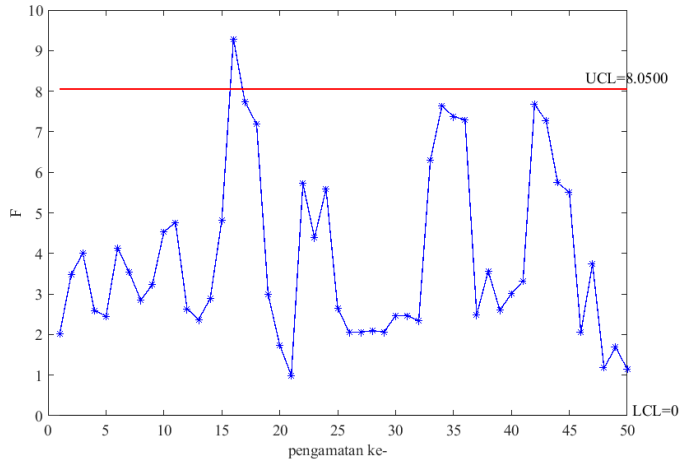
text(k,ucl,'UCL=8.0500')
text(k,lcl,'LCL=0')

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        o(i)=1; else o(i)=0;
    end
end
out=sum(o)

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        obs(i)=i; else obs(i)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```

Lampiran F. Diagram *Improved GV* tanpa 9 Pengamatan *Out of Control*



Lampiran G. Program Matlab Diagram *Improved* GV Keadaan *In Control*

```

function g=gv(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;
invs=inv(s);

for i=1:m
    for j=1:p
        xk(i,j)=(1/i)*sum(data(1:i,j));
    end
end

for i=1:m
    for j=1:p
        xik(i,j)=data(i,j)-xk(i,j);
    end
end

for i=1:m-1
    for j=1:p
        SSk=xik(i,:)'*xik(i,:);
        SSk1=xik(i+1,:)'*xik(i+1,:);
        D=SSk1-SSk;
        F(i)=sqrt(trace(D^2));
    end
end
end

```

Lampiran G. Program Matlab Diagram *Improved* GV Keadaan *In Control* (lanjutan)

```

F=F';

c=(trace(s^2))/(trace(s));
r=(trace(s)^2)/(trace(s^2));
ucl=c*(chi2inv(1-alpha,floor(r)))
lcl=0;

bka(1:m-1)=ucl;
bkb(1:m-1)=lcl;

x=1:m-1;
y=F;

plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('F')
text(k,ucl,'UCL=8.1428')
text(k,lcl,'LCL=0')

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        o(i)=1; else o(i)=0;
    end
end

out=sum(o)

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        obs(i)=i; else obs(i)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```


Lampiran H. Program Matlab Diagram *Improved* GV Fase 2

```

function g=gv2(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;
invs=inv(s);

for i=1:m
    for j=1:p
        xk(i,j)=(1/i)*sum(data(1:i,j));
    end
end

for i=1:m
    for j=1:p
        xik(i,j)=data(i,j)-xk(i,j);
    end
end

for i=1:m-1
    for j=1:p
        SSk=xik(i,:)'*xik(i,:);
        SSk1=xik(i+1,:)'*xik(i+1,:);
        D=SSk1-SSk;
        F(i)=sqrt(trace(D^2));
    end
end

F=F';

```

Lampiran H. Program Matlab Diagram *Improved* GV Fase 2 (lanjutan)

```

ucl=8.1428;
lcl=0;

bka(1:m-1)=ucl;
bkb(1:m-1)=lcl;

x=1:m-1;
y=F;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('F')
text(k,ucl,'UCL=10.4905')
text(k,lcl,'LCL=0')

for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        o(i)=1; else o(i)=0;
    end
end
out=sum(o)
for i=1:m-1
    if (F(i)>ucl) | (F(i)<lcl)
        obs(i)=i; else obs(i)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```

Lampiran I. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling

```

function h=hoteling1(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

v=v;
vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

invs=inv(s);
rata=mean(data);

for j=1:p
    for i=1:m
        t1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
    end
end
t1=t1;
t2=t1';

for i=1:m
    T(i,1)=t1(i,:)*invs*t2(:,i);
end
med=median(T);
ucl=((p*(m-1)*(m+1))*(finv(1-alpha,p,(m-
p))))/(m*(m-p))
lcl=((p*(m-1)*(m+1))*(finv(alpha,p,(m-
p))))/(m*(m-p))
me=med

T=T;

```

Lampiran I. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling (lanjutan)

```

for i=1:m
    bka(i,1)=ucl;
end
for i=1:m
    bkb(i,1)=lcl;
end

for i=1:m
    medi(i,1)=me;
end
x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,medi,'k-',x,bkb,'k-
');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'UCL=16.0781')
text(k,lcl,'LCL=0.3302')
text(k,me,'median=5.0877')

for i=1:m
    if (T(i,1)>ucl) | (T(i,1)<lcl);
        o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
    end
end
out=sum(o)

for i=1:m
    if (T(i,1)>ucl) | (T(i,1)<lcl);
        obs(i,1)=i; else obs(i,1)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```

Lampiran J. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Keadaan *In Control*

```

function h=hoteling1(data)
alpha=0.0108;
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

v=v;
vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

invs=inv(s);
rata=mean(data);

for j=1:p
    for i=1:m
        t1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
    end
end
t1=t1;
t2=t1';
for i=1:m
    T(i,1)=t1(i,:)*invs*t2(:,i);
end
med=median(T);
ucl=((p*(m-1)*(m+1))*(finv(1-alpha,p,(m-
p))))/(m*(m-p))

lcl=((p*(m-1)*(m+1))*(finv(alpha,p,(m-
p))))/(m*(m-p))
me=med

```

Lampiran J. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Keadaan *In Control* (lanjutan)

```

T=T;

for i=1:m
    bka(i,1)=ucl;
end
for i=1:m
    bkb(i,1)=lcl;
end
for i=1:m
    medi(i,1)=me;
end
x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-','x',bka,'k-','x',medi,'k-','x',bkb,'k-
');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'UCL=16.2267')
text(k,lcl,'LCL=0.3311')
text(k,me,'median=4.8806')

for i=1:m
    if (T(i,1)>ucl) | (T(i,1)<lcl);
        o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
    end
end
out=sum(o)

for i=1:m
    if (T(i,1)>ucl) | (T(i,1)<lcl);
        obs(i,1)=i; else obs(i,1)=0;
    end
end
pengamatan_ke=obs

```

Lampiran K. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Fase 2

```

function h=hoteling(data)
[m,p]=size(data);

for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
    end
end

vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

invs=inv(s);
rata=mean(data);

for j=1:p
    for i=1:m
        t1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
    end
end
t2=t1';
for i=1:m
    T(i,1)=t1(i,:)*invs*t2(:,i);
end

ucl=16.2267;
cl=4.8806;
lcl=0.3311;
for i=1:m
    bka(i,1)=ucl;

end
for i=1:m
    bkb(i,1)=lcl;
end
for i=1:m

```

Lampiran K. Program Matlab Diagram T^2 Hotelling Fase 2 (lanjutan)

```

        gt(i,1)=cl;
end

x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,gt,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'UCL=16.2267')
text(k,cl,'CL=4.8806')
text(k,lcl,'LCL=0.3311')

for i=1:m
    if (T(i,1)>ucl) | (T(i,1)<lcl);
        o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
    end
end
out=sum(o)

```


Lampiran L Surat Keterangan Data**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FMIPA ITS:

Nama : Rinta Novelinta Wardhani

NRP : 1313100048

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir/~~Thesis~~ ini merupakan data sekunder yang diambil dari penelitian ~~/buku/~~ Tugas Akhir/~~Thesis~~/publikasi lainnya yaitu:

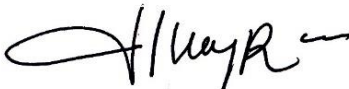
Sumber : Data Penelitian Haryono dengan Judul “Analisis Kapabilitas Proses Produksi Air Minum PDAM Surabaya”

Keterangan : Data Karakteristik Kualitas Air Minum IPAM Ngagel I PDAM Surabaya.

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir

Surabaya, 4 Juli 2017
Mahasiswa



(Drs. Haryono, MSIE)
NIP. 195209 197901 1 001



(Rinta Novelinta W.)
NRP. 1313100048

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Rinta Novelinta Wardhani lahir di Kabupaten Jember pada tanggal 11 November 1994. Penulis merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara dari pasangan Almarhum Suwardi dan Mamik Sumarmi. Penulis mulai menempuh Pendidikan formal di TK Pertiwi Jember pada tahun 1999-2001, dilanjutkan di SD Negeri Jember Lor 1 pada tahun 2001-2007, SMP Negeri 2 Jember pada 2007-2010, dan SMA Negeri 1 Jember pada 2010-2013. Setelah lulus SMA, penulis menempuh pendidikan di Jurusan Statistika ITS pada tahun 2013. Pada tahun pertama, penulis belum tergabung pada organisasi apapun namun telah bergabung menjadi volunteer salah satu program kerja dari BEM ITS yaitu Youth Environmental Leader Program (YELP) pada tahun 2014. Pada tahun kedua, penulis bergabung menjadi salah satu staf HIMASTA-ITS 14/15 dan akhirnya mendapatkan amanah menjadi salah satu Pengurus Harian HIMASTA-ITS 15/16 pada tahun ketiga sebagai Sekretaris. Selain aktif pada kepanitiaan berbagai program kerja HIMASTA-ITS, penulis juga pernah mengikuti pelatihan LKMM Tingkat Pra-Dasar dan Tingkat Dasar.

Jika terdapat kritik dan saran yang membangun atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat disampaikan pada penulis melalui rintanovelinta@gmail.com.